

10/524585

Rec'd PCT/PTO

15 FEB 2005

PCT/JP 2004/002382

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

27. 2. 2004

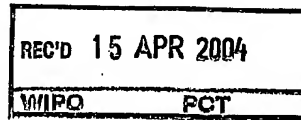
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2003年 2月28日

出願番号  
Application Number: 特願2003-053282  
[ST. 10/C]: [JP 2003-053282]

出願人  
Applicant(s): 農工大ティー・エル・オー株式会社

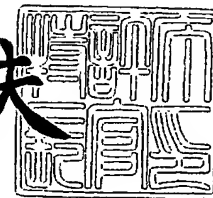


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 4月 1日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3026742

【書類名】 特許願

【整理番号】 NP03030-NT

【提出日】 平成15年 2月28日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H03B 7/00  
B06B 1/02  
H04R 23/00

【発明の名称】 熱励起音波発生装置

【請求項の数】 5

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都小金井市緑町 3-12-8  
【氏名】 越田 信義

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都小金井市中町 2-24-16  
農工大ティー・エル・オー株式会社内  
【氏名】 椿 健治

【特許出願人】  
【識別番号】 801000072  
【氏名又は名称】 農工大ティー・エル・オー株式会社

【代理人】  
【識別番号】 100093230  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 西澤 利夫  
【電話番号】 03-5454-7191

【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 009911  
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】  
【物件名】 明細書 1

【物件名】	図面	1
【物件名】	要約書	1
【ブルーフの要否】	要	

【書類名】 明細書

【発明の名称】 熱励起音波発生装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 熱導電性の基板と、基板上の一方の面に形成されたポーラスシリコン層からなる断熱層と、断熱層上に形成され、電氣的に駆動される金属膜からなる発熱体薄膜を有する熱励起音波発生装置であって、ポーラスシリコン層のナノシリコン結晶の表面に絶縁膜が形成されていることを特徴とする熱励起音波発生装置。

【請求項 2】 請求項 1 において、絶縁膜が、酸化膜であることを特徴とする熱励起音波発生装置。

【請求項 3】 請求項 1 において、絶縁膜が、窒化膜であることを特徴とする熱励起音波発生装置。

【請求項 4】 請求項 1 ないし 3 のいずれかにおいて、絶縁膜は、熱処理により形成されたものであることを特徴とする熱励起音波発生装置。

【請求項 5】 請求項 1 ないし 3 のいずれかにおいて、絶縁膜は、電気化学的処理により形成されたものであることを特徴とする熱励起音波発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この出願の発明は、熱励起音波発生装置に関するものである。さらに詳しくは、この出願の発明は、空気に熱を与えることで空気の粗密を作り、音波を発生する装置であって、超音波音源、スピーカー音源、アクチュエータ等に有用な新しい熱励起音波発生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来より各種の音波発生装置が知られており、これら従来の超音波発生装置は、電気火花や流体振動などを用いる特殊なものを除いて、すべて何らかの機械振動を空気の振動へと変換するものである。このような機械振動を用いる方法には動電型・コンデンサ型などもあるが、超音波領域では圧電素子を利用したものが

主流である。例えば、圧電材料であるチタン酸バリウムの両面に電極を形成し、電極間に超音波電気信号を印加することで、機械振動を発生させ、空気などの媒質にその振動を伝達して超音波を発生するようにしている。だが、このような機械振動を利用した音波発生装置では、固有の共振周波数を有するために周波数帯域が狭い、周囲の環境（温度、振動）等の影響を受けやすい、微細・アレイ化が困難といった問題があった。

#### 【0003】

一方、機械振動を全く伴わない、新しい発生原理の圧力波発生装置が提案されている（特許文献1）（非特許文献1）。この提案では、具体的には、基板と、基板上に設けられた熱絶縁層と、熱絶縁層上に設けられて電気的に駆動される発熱体薄膜から構成されており、発熱体薄膜から発生した熱が、熱伝導率のきわめて小さい多孔質層や高分子層などの熱絶縁層を設けることで、発熱体表面の空気層の温度変化が大きくなるようにして、超音波を発生するようにしている。この提案されたデバイスは、機械振動を伴わないので、周波数帯域が広く、周囲環境の影響を受けにくく、微細・アレイ化も比較的容易であるなどの特徴を有している。このような熱励起による圧力発生装置の発生原理について考えてみると、電気的に駆動される発熱体薄膜に交流電流を印加した場合の表面温度の変化は、熱絶縁層の熱伝導を $\alpha$ 、体積あたりの熱容量を $C$ 、角周波数を $\omega$ として、単位面積あたりのエネルギーの出入り $q(\omega)$  [W/cm<sup>2</sup>]があったとき、次式(1)で与えられる。

#### 【0004】

##### 【数1】

$$T(\omega) = (1-j) / \sqrt{2} \times 1 / \sqrt{\omega \alpha C} \times q(\omega) \quad (1)$$

また、そのとき発生する音圧は、次式(2)で与えられる。

#### 【0005】

##### 【数2】

$$P(\omega) = A \times 1 \sqrt{\alpha C} \times q(\omega) \quad (2)$$

すなわち、図3に示すように、超音波周波数の信号を発生する信号源から供給された周波数  $f$  の電流（図3-a）によって、発熱体薄膜から発生する熱（図3-b）が周囲の媒体である空気との熱交換により、空気の温度変化が起こる（図3-c）。これが空気の粗密波を生み出し、周波数  $2f$  の音波を発生する（図3-d）。

#### 【0006】

ここで、前記の（2）式より、発生する音圧は、単位面積あたりのエネルギーの出入り  $q(\omega)$ 、すなわち、入力電力に比例する、熱絶縁層の熱伝導度  $\alpha$ 、体積あたりの熱容量  $C$  が小さいほど大きくなることがわかる。さらに、熱絶縁層と基板の熱的コントラストが重要な役割をする。すなわち、熱伝導率  $\alpha$ 、体積あたりの熱容量  $C$  をもつ熱絶縁層の厚さを  $L$  とし、その下に  $\alpha$ 、 $C$  とも十分に大きな熱伝導性の基板がある場合、次式（3）

$$L = (2\alpha / \omega C)^{0.5} \quad (3)$$

程度の厚み（交流成分の熱拡散長）をとると、発熱の交流成分は断熱し、発熱体の熱容量のため発生する直流成分の熱は、大きな熱伝導性の基板へ効率良く、逃すことができる。

#### 【0007】

##### 【特許文献1】

特開平11-300274号公報

##### 【非特許文献1】

Nature 400(1999) 853-855

#### 【0008】

しかしながら、上記の熱励起による音波発生装置においては、機械振動を全く伴わず、多くの特長を有しているものの実用的出力を得ようとした場合、発生する音圧レベルは0.1Pa程度までであって満足できるレベルではない。このため、更なる性能の向上が望まれていた。

#### 【0009】

##### 【発明が解決しようとする課題】

そこで、この出願の発明は、上記のとおりの問題点を解消し、音圧レベルを向

上させることのできる、新しい熱励起音波発生装置を提供することを課題として  
いる。

#### 【0010】

##### 【課題を解決するための手段】

この出願の発明は、上記の課題を解決するものとして、第1には、熱導電性の基板と、基板上の一方の面に形成されたポーラスシリコン層からなる断熱層と、断熱層上に形成され、電気的に駆動される金属膜からなる発熱体薄膜を有する熱励起音波発生装置であって、ポーラスシリコン層のナノシリコン結晶の表面に絶縁膜が形成されていることを特徴とする熱励起音波発生装置を提供する。

#### 【0011】

また、この出願の発明は、第2には、絶縁膜が、酸化膜であることを特徴とする上記の熱励起音波発生装置を提供し、第3には、絶縁膜が、窒化膜であることを特徴とする熱励起音波発生装置を、第4には、絶縁膜は、熱処理により形成されたものであることを特徴とする熱励起音波発生装置を、第5には、絶縁膜は、電気化学的処理により形成されたものであることを特徴とする熱励起音波発生装置を提供する。

#### 【0012】

以上のとおりのこの出願の発明は、発明者が、上記課題を解決するため鋭意研究を重ねた結果、熱導電性の基板と、基板上の一方の面に形成されたポーラスシリコン層からなる断熱層と、断熱層上に形成され、電気的に駆動される金属膜からなる発熱体薄膜とからなることを特徴とする熱励起音波発生装置において、ポーラスシリコン層のナノシリコン結晶の表面に絶縁膜を形成することで、断熱層としての熱伝導率 $\alpha$ を低下することができ、発生音圧を大きくすることができるという全く予期できなかった新しい知見に基づいて完成されたものである。

#### 【0013】

この出願の発明は上記のとおりの特徴をもつものであるが、以下にその実施の形態について説明する。

#### 【0014】

##### 【発明の実施の形態】

図1は、この出願の発明の熱励起音波発生装置についてその一実施形態を例示した断面図である。この例では、熱導電性の基板(1)と、基板(1)上の一方の面に形成されたポーラスシリコン層からなる断熱層(2)と、断熱層(2)上に形成され、電氣的に駆動される金属膜からなる発熱体薄膜(3)で構成されている。

#### 【0015】

断熱層2は、ポーラスシリコン層からなるが、例えば、シリコン表面をフッ酸溶液中で陽極酸化処理することで形成することができる。その際の、電流密度、処理時間を適宜設定することで、所望の多孔度、深さ(厚み)を得ることができる。ポーラスシリコン層は、多孔質材料であり、かつナノオーダーのシリコンの量子効果(フォノン閉じ込め効果)により、シリコンに比べて、熱伝導率、熱容量とも非常に小さい値を示す。具体的な数値を、表1に示す。

#### 【0016】

【表1】

熱伝導率 $\alpha$ 、熱容量C

	熱伝導率 $\alpha$ (W/mK)	熱容量C ( $10^6$ J/m <sup>3</sup> K)
ポーラスシリコン	1	0.7
単結晶シリコン	168	1.67
SiO <sub>2</sub>	1.4	2.27
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	20	2.31

表1よりポーラスシリコンの $\alpha$  C値は、0.7であり、単結晶シリコンの約1/400であることがわかる。ここで、この出願の発明者は、ポーラスシリコンの骨格であるシリコンの熱伝導率に比べて、絶縁材料であるSiO<sub>2</sub>やSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の熱伝導率が小さいことに着目した。すなわち、図2に示すように、ポーラスシリコンを形成するナノシリコン結晶の表面にこれらの絶縁膜を形成し、骨格部分の熱伝導率を下げることでポーラスシリコンの熱伝導率 $\alpha$ を小さくできることを見出した。ただし、これら絶縁材料の熱容量Cは、シリコンに比べて大きいことから、シリコン結晶表面に形成する絶縁膜の厚みは $\alpha$  C値が小さくなるように適宜選択する必要がある。



## 【0017】

これら絶縁膜の形成方法に関しては、特に限定されないが、例えば、熱処理や電気化学的処理で絶縁膜を形成することが好ましい。熱処理は、酸素雰囲気あるいは窒素雰囲気下で、熱を加えることで行なうことができる。そのときの、温度条件、昇温条件等は、用いる基板の材質などによって適宜選択されるが、例えば、熱酸化处理としては、800℃～950℃の温度範囲において、0.5～5時間で行なうことができる。電気化学的酸化处理は、例えば、硫酸水溶液などの電解質溶液中で、基板と対極の間に定電流を所定時間流すことで行なうことができる。そのときの電流値、通電時間等は、形成したい酸化膜の膜厚に応じて適宜選択する。

## 【0018】

熱導電性の基板(1)としては直流成分の熱を逃がすために熱伝導率 $\alpha$ の大きな材料を用いることが好ましく、シリコンなどの半導体基板や、金属基板を用いることができる。基板の形状としては、放熱効率を良くするために、放熱フィンを裏面に形成していてもよい。

## 【0019】

発熱体薄膜(3)としては、金属膜であれば材質は特に限定されない。たとえば、金アルミ、ニッケル、白金などが用いられ、真空蒸着、スパッタなどで成膜できる。また、膜厚は、熱容量を小さくするためにできるだけ、薄くすることが好ましいが、適当な抵抗にするために10nm～100nmの範囲で選択することができる。

## 【0020】

そこで以下に実施例を示し、さらに詳しく説明する。

## 【0021】

もちろん以下の例によって発明が限定されることはない。

## 【0022】

## 【実施例】

## (実施例1)

P型(100)単結晶シリコン基板(3-20 $\Omega$ )の裏面に陽極酸化处理時の

コンタクト電極として、Al を真空蒸着で 300 nm 成膜した。その後、この基板を、HF (55%) : EtOH = 1 : 1 の溶液中で、白金を対極として電流密度  $20 \text{ mA/cm}^2$  で 40 分間陽極酸化処理を行い、厚み約  $50 \mu\text{m}$  のポーラスシリコン層を形成した。その後、酸素雰囲気中で  $900^\circ\text{C}$ 、1 時間熱酸化処理を行い、ナノシリコン結晶表面に  $\text{SiO}_2$  からなる絶縁膜を形成した。最後に、ポーラスシリコン層上に、発熱体薄膜として Al を真空蒸着で 50 nm の厚みで形成して、素子を作製した。

(実施例 2)

実施例 1 において、熱処理として窒素雰囲気中で処理を行い、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  からなる絶縁膜を形成したこと以外同様にして素子を作製した。

(実施例 3)

実施例 1 において、電気化学的酸化処理を行い、 $\text{SiO}_2$  からなる絶縁膜を形成したこと以外同様にして素子を作製した。具体的には 1 M 硫酸水溶液中で、白金電極を対極として、電流密度  $5 \text{ mA/cm}^2$  で、1 時間処理を行った。

(比較例 1)

実施例 1 において、熱酸化処理を行わなかったこと以外同様にして素子を作製した。

【0023】

以上の実施例 1 および 2、比較例 1 および 2 の各々について、ポーラスシリコン層の熱伝導率  $\alpha$  および熱容量  $C$  を光音響法によって測定した。また、得られた素子の発熱体薄膜に  $50 \text{ kHz}$ 、 $1 \text{ W/cm}^2$  の電力を供給し、出力音圧を素子から 10 mm の距離でマイクで測定した。

【0024】

結果を表 2 に示す。

【0025】

【表 2】

	熱伝導率 $\alpha$ (W/mK)	熱容量 C ( $10^6$ J/m <sup>3</sup> K)	$\alpha C$	出力音圧 (Pa)
実施例1	0.1	1.2	0.12	0.25
実施例2	0.3	1.3	0.39	0.14
実施例3	0.1	1.1	0.11	0.26
比較例1	1.1	0.7	0.77	0.10

各素子からは、100 kHz の超音波が発生した。表 2 より、絶縁層を形成することで、熱容量 C は若干増加するものの、熱伝導率が減少し、結果として  $\alpha C$  の値は小さくなる。そのため、発生する出力音圧が大きくなった。

【0026】

## 【発明の効果】

この出願の発明の熱励起音波発生装置では、熱導電性の基板と、基板上の一方の面に形成されたポーラスシリコン層からなる断熱層と、断熱層上に形成され、電氣的に駆動される金属膜からなる発熱体薄膜とを有する熱励起音波発生装置においてポーラスシリコン層のシリコン結晶の表面に絶縁膜を形成することで、断熱層としての熱伝導率  $\alpha$  を低下することができ、発生音圧を大きくすることができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図 1】

この出願の発明の熱励起音波発生装置においてその一実施形態を例示した断面図である。

## 【図 2】

ナノ結晶シリコンの表面に絶縁膜が形成された状態について、示した概要断面図である。

## 【図 3】

周波数（時間）と電流、熱、温度、音波との関係について示した図である。

## 【符号の説明】

1 基板

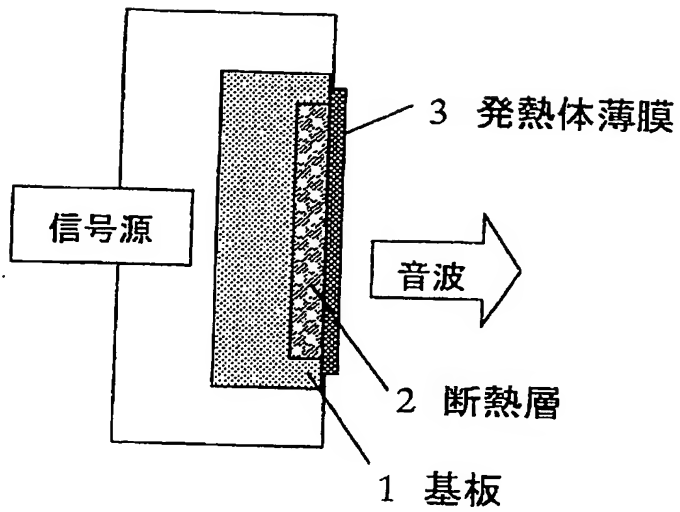
2 断熱層

3 発熱体薄膜

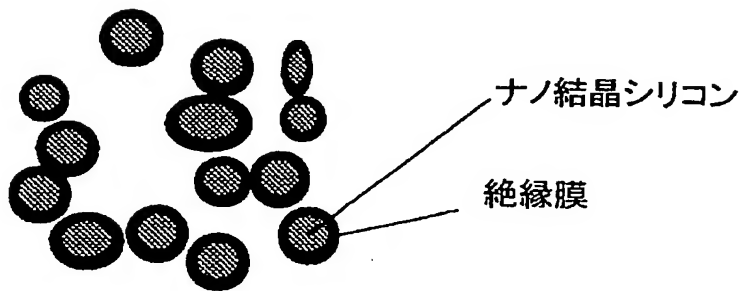
【書類名】

図面

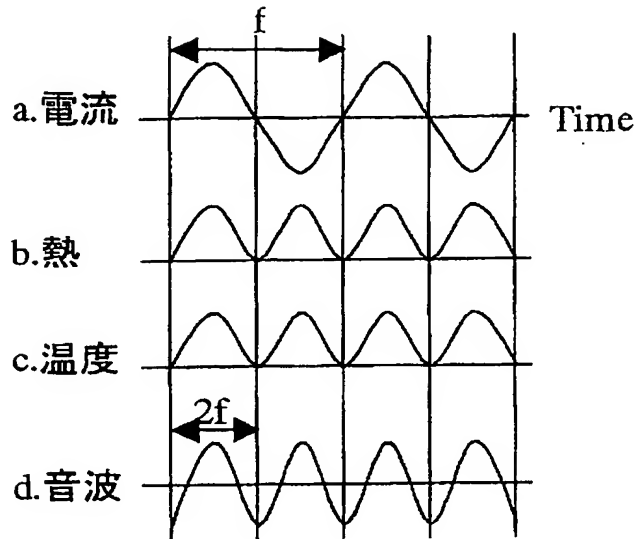
【図1】



【図2】



【図3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 音圧レベルを向上させることのできる、新しい熱励起音波発生装置を提供する。

【解決手段】 熱導電性の基板と、基板上の一方の面に形成されたポーラスシリコン層からなる断熱層と、断熱層上に形成され、電氣的に駆動される金属膜からなる発熱体薄膜を有する熱励起音波発生装置であって、ポーラスシリコン層のナノシリコン結晶の表面に絶縁膜が形成されている熱励起音波発生装置とする。

【選択図】 図 1

特願 2003-053282

出願人履歴情報

識別番号

[801000072]

- |          |                    |
|----------|--------------------|
| 1. 変更年月日 | 2001年12月17日        |
| [変更理由]   | 新規登録               |
| 住 所      | 東京都小金井市東町4-34-25   |
| 氏 名      | 農工大ティー・エル・オー株式会社   |
| 2. 変更年月日 | 2003年11月 7日        |
| [変更理由]   | 住所変更               |
| 住 所      | 東京都小金井市中町二丁目24番16号 |
| 氏 名      | 農工大ティー・エル・オー株式会社   |